

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **11284445 A**

(43) Date of publication of application: **15.10.99**

(51) Int. Cl. **H03F 3/08**  
**H03F 1/30**  
**H04B 10/28**  
**H04B 10/26**  
**H04B 10/14**  
**H04B 10/04**  
**H04B 10/06**

(21) Application number: **11020684**

(22) Date of filing: **28.01.99**

(30) Priority: **30.01.98 JP 10 19073**

(71) Applicant: **SUMITOMO ELECTRIC IND LTD**

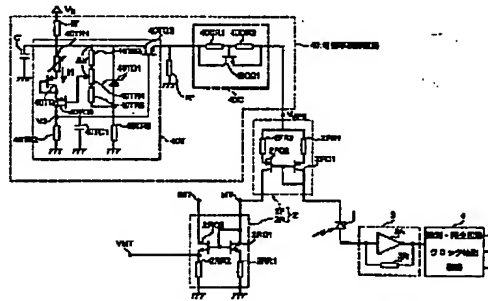
(72) Inventor: **NISHIYAMA NAOKI**  
**TAKAHASHI SATOSHI**  
**NISHIE MITSUAKI**

(54) **OPTICAL CURRENT MONITOR CIRCUIT AND  
OPTICAL RECEIVER THEREOF**

(57) Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide an optical current monitor circuit, with which an optical current to flow to a photodiode can be monitored precisely, and an optical receiver provided with this circuit.

**SOLUTION:** Since this optical current monitor circuit is able to detect a current proportional to an optical current to flow from a terminal IMT for optical current monitor to a photodiode 1 via first and second current mirror circuits 2F and 2R, the exact optical current can be monitored without affecting the optical current itself of the photodiode by a circuit for detection.



COPYRIGHT: (C)1999,JPO

(19) 日本国特許庁 ( J P )

(12) 公開特許公報 ( A )

(11) 特許出願公開番号

特開平11-284445

(43) 公開日 平成11年(1999)10月15日

(51) Int. Cl.	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H03F 3/08			H03F 3/08	
	1/30		1/30	A
H04B 10/28			H04B 9/00	Y
10/26				
10/14				

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 8 頁) 最終頁に続く

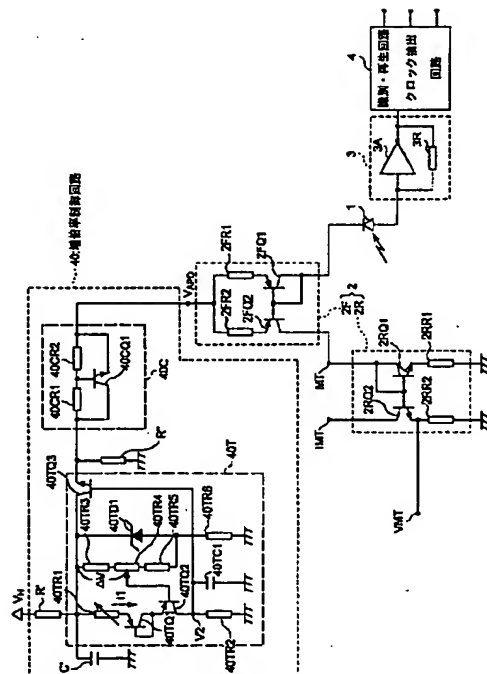
(21) 出願番号	特願平11-20684	(71) 出願人	000002130 住友電気工業株式会社 大阪府大阪市中央区北浜四丁目 5 番33号
(22) 出願日	平成11年(1999) 1 月28日	(72) 発明者	西山 直樹 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電 気工業株式会社横浜製作所内
(31) 優先権主張番号	特願平10-19073	(72) 発明者	高橋 聡 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電 気工業株式会社横浜製作所内
(32) 優先日	平10(1998) 1 月30日	(72) 発明者	西江 光昭 神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電 気工業株式会社横浜製作所内
(33) 優先権主張国	日本 ( J P )	(74) 代理人	弁理士 長谷川 芳樹 (外 3 名)

(54) 【発明の名称】 光電流モニタ回路及び光受信器

(57) 【要約】

【課題】 フォトダイオードに流れる光電流を正確にモニタ可能な光電流モニタ回路及びこれを備えた光受信器を提供する。

【解決手段】 この光電流モニタ回路によれば、第1及び第2カレントミラー回路2F、2Rを介して、光電流モニタ用端子1MTからフォトダイオード1に流れる光電流に比例した電流を検出することができるため、検出用の回路がフォトダイオードの光電流自体に影響を与ることなく、正確な光電流をモニタすることができる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光信号を受光するフォトダイオードと、双方を流れる電流が比例関係にある 2 つの並列ラインを有し一方の前記ラインに前記フォトダイオードの一端が接続された第 1 カレントミラー回路と、前記第 1 カレントミラー回路の他方の前記ラインに、その並列ラインの一方が接続された第 2 カレントミラー回路と、前記第 2 カレントミラーの前記並列ラインの他方に接続された光電流モニタ用端子と、を備えることを特徴とする光電流モニタ回路。

【請求項 2】 前記第 1 及び第 2 カレントミラー回路は、互いに極性が反対のバイポーラトランジスタから構成されていることを特徴とする請求項 1 に記載の光電流モニタ回路。

【請求項 3】 前記フォトダイオードはアバランシェフォトダイオードであり、前記第 1 カレントミラー回路を構成する一方のバイポーラトランジスタのコレクタは前記フォトダイオードに、エミッタは正の温度係数のバイアス電位を該エミッタに与える増倍率制御回路に接続されていることを特徴とする請求項 2 に記載の光電流モニタ回路。

【請求項 4】 前記増倍率制御回路は、正の温度係数を有するツエナダイオードと、ベース-エミッタ間電圧が負の温度係数を有するトランジスタとを並列接続した温度補償回路を備えることを特徴とする請求項 3 に記載の光電流モニタ回路。

【請求項 5】 請求項 1 に記載の前記フォトダイオードの他端に接続されたトランスインピーダンスアンプを更に備えることを特徴とする光受信器。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、光信号を受信するためのフォトダイオードに流れる光電流を検出する光電流モニタ回路、及びその光電流モニタ回路を備えた光受信器に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 光受信器は光ファイバによる通信等に用いられている。このような光受信器は光信号を受信するためのアバランシェフォトダイオード (APD) を備えている。APD には、通常 80 ボルト以上のバイアス電圧が印加される。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】 検出用の回路は APD の光電流自体に影響を与えるので、光電流を正確に検出することができない。本発明は、フォトダイオードに流れる光電流を正確にモニタ可能な光電流モニタ回路及びこれを備えた光受信器を提供することを目的とする。

## 【0004】

【課題を解決するための手段】 本発明の光電流モニタ回路は、光信号を受光するフォトダイオードと、双方を流

れる電流が比例関係にある 2 つの並列ラインを有し一方のこのラインにフォトダイオードの一端が接続された第 1 カレントミラー回路と、第 1 カレントミラー回路の他方のラインに、その並列ラインの一方が接続された第 2 カレントミラー回路と、第 2 カレントミラーの並列ラインの他方に接続された光電流モニタ用端子とを備えることを特徴とする。

【0005】 この光電流モニタ回路によれば、第 1 及び第 2 カレントミラー回路を介して、フォトダイオードに流れる光電流に比例した電流を光電流モニタ用端子から検出することができるため、検出用の回路がフォトダイオードの光電流自体に影響を与えることなく、正確な光電流をモニタすることができる。

【0006】 第 1 及び第 2 カレントミラー回路は、互いに極性が反対のバイポーラトランジスタから構成されていることが好ましい。すなわち、この構成によれば、極性が逆のバイポーラトランジスタを直列に接続した場合、電流の流れる方向を一致させることができるため、回路構成が簡単となる。

【0007】 前記フォトダイオードはアバランシェフォトダイオードであり、第 1 カレントミラー回路を構成する一方のバイポーラトランジスタのコレクタはフォトダイオードに、エミッタは正の温度係数のバイアス電位を該エミッタに与える増倍率制御回路に接続されていることが好ましい。

【0008】 アバランシェフォトダイオードの増倍率は、温度依存性及びバイアス電圧依存性を有する。ここで、アバランシェフォトダイオードにおいては、バイアス電圧に正の温度係数の電位を与えると、その増倍率の温度依存性を補償することができる。第 1 カレントミラー回路のトランジスタのコレクタ電位は、ベースとコレクタが短絡されているので、エミッタ電位から一意的に決定される。したがって、エミッタに増倍率制御回路を接続し、これに正の温度係数の電位を与えると、その増倍率の温度依存性を補償することができる。

【0009】 増倍率制御回路は、正の温度係数を有するツエナダイオードと、ベース-エミッタ間電圧が負の温度係数を有するトランジスタとを並列接続した温度補償回路を備えることが好ましい。

【0010】 すなわち、温度係数が互いに逆極性のツエナダイオードとトランジスタとを並列に接続すると、その出力電位の温度係数は各素子の寄与率に応じて調整することができる。

【0011】 また、本発明の光受信器は、フォトダイオードの他端に接続されたトランスインピーダンスアンプを更に備える。フォトダイオードからの光電流は、一方では上記の如く間接的にモニタされるが、直接の光電流はトランスインピーダンスアンプを介して電圧変換される。

【0012】

10

20

30

40

50

【発明の実施の形態】以下、実施の形態に係る光電流モニタ回路を備えた光受信器について、光モジュールを例に説明する。なお、同一要素又は同一機能を有する要素には同一符号を用いるものとし、重複する説明は省略する。

【0013】図1は、実施の形態に係る光モジュール10の縦断面図である。樹脂材料10a内には、スリーブSVが埋設されており、スリーブSV内にはフェルル10dに包まれた光ファイバOFが配置されている。光ファイバOFのスリーブSV内の端面は、アバランシェフォトダイオード(APD)1に対向している。APD1は、スリーブSVの開口の一端を封止する蓋部材SMの内側に固定され、スリーブSV内に固定された球レンズLSを介して光ファイバOFから入力される信号光を受光する。

【0014】本例においては、増倍率制御回路40、カレントミラー回路2、トランスインピーダンスアンプ3、及びデータ識別・再生/クロック抽出回路4が、配線基板5上に設けられており、樹脂材料10a内にモールドされている。

【0015】詳説すれば、APD1の一端は増倍率制御回路40に電気的に接続され、他端はトランスインピーダンスアンプ3に電気的に接続されている。APD1へのバイアス電圧は増倍率制御回路40によって調整された後、APD1に印加される。この状態でAPD1に光ファイバOFからの光信号が入力されると、光信号の光量に応じて流れる電流量が変化する。この電流はトランスインピーダンスアンプ3に入力されることによって、電流/電圧変換され、光信号に応じた電圧信号として出力される。

【0016】トランスインピーダンスアンプ3は、データ識別・再生/クロック抽出回路4に接続されている。データ識別・再生/クロック抽出回路4は、トランスインピーダンスアンプ3の出力電圧に含まれるデータを識別し、これを再生し、また、そのクロックを抽出する回路である。なお、データ識別・再生/クロック抽出回路4は、図示しないメインアンプ回路を含んでいるものとする。以下、上記光モジュールの回路構成について詳説する。

【0017】図2は、上記光モジュールの回路図である。カレントミラー回路2は、前段側カレントミラー回路2Fと後段側カレントミラー回路2Rを縦続して構成される。カレントミラー回路は、そのトランジスタをそれぞれ含む並列ラインの双方を流れる電流比が一定となるように動作する回路である。なお、電流比はオームの法則に従い、それぞれのラインの抵抗値に反比例する。詳説すれば、カレントミラー回路は、ベース-エミッタ間の電圧が等しくなるように並列接続された回路である。トランジスタを流れる電流はこの電圧に依存するため、双方のトランジスタを流れる電流は必然的に等しく

なる。また、それぞれのトランジスタは、動作環境が等しくなるように近接して配置される。

【0018】なお、APD1は逆バイアスを印加して使用するため、正電位の端子 $V_{APD}$ からのカレントミラー回路による電圧降下は、APD1に十分に逆バイアスを印加できる程度に小さい必要がある。カレントミラー回路を構成する一方のトランジスタの電圧降下は、そのベース-エミッタ間電圧で規定され、これはダイオードの順方向クランプ電圧に等しく、トランジスタの通常の動作条件下においては、約0.6~0.7V程度に設定される。従って、APD1のカソード電位は、 $V_{APD} -$

(0.6~0.7)Vとなり、APD1には十分な逆方向バイアス電圧が印加されることになる。

【0019】前段側カレントミラー回路2Fは、コレクター-ベース間を短絡したpnpトランジスタ2FQ1と、これと実質的に特性の等しいpnpトランジスタ2FQ2とから構成される。二つのトランジスタ2FQ1、2FQ2の互いのベースは共通接続され、それぞれのトランジスタ2FQ1、2FQ2のエミッタは共に端子 $V_{APD}$ に接続してある。なお、これらのエミッタと端子 $V_{APD}$ との間には抵抗2FR1、2FR2がそれぞれ介在しており、双方のトランジスタ2FQ1、2FQ2を流れる電流比を決定している。なお、抵抗2FR1、2FR2の値が共に零又は等しい場合には、トランジスタ2FQ1、2FQ2に流れる電流値は等しくなる。以下では、簡単のため、抵抗2FR1、2FR2の抵抗値が等しいものとする。

【0020】このように構成される前段側カレントミラー回路2Fの並列ラインの一方はAPD1に接続され、他方は端子MTを介して後段側カレントミラー回路2Rに接続されている。光信号がAPD1へ入力されると、端子 $V_{APD}$ からトランジスタ2FQ1を介してAPD1に電流が流れ込み、これと等しい電流が後段側カレントミラー回路2Rに流れ込む。

【0021】後段側カレントミラー回路2Rは、コレクター-ベース間を短絡したnpnトランジスタ2RQ1と、これと実質的に特性の等しいnpnトランジスタ2RQ2とから構成される。二つのトランジスタ2RQ1、2RQ2の互いのベースは共通接続されている。一方のトランジスタ2RQ1のコレクタは端子MTに接続してあり、他方のトランジスタ2RQ2のコレクタは電流モニタ用端子IMTに接続されている。

【0022】なお、これらのエミッタとグランドとの間には抵抗2RR1、2RR2がそれぞれ介在しており、双方のトランジスタ2RQ1、2RQ2を流れる電流比を決定している。抵抗2RR1、2RR2の値が共に零又は等しい場合には、トランジスタ2RQ1、2RQ2に流れる電流値は等しくなる。以下では、簡単のため、抵抗2RR1、2RR2の抵抗値が等しいものとする。また、トランジスタ2RQ2のエミッタは電圧モニタ用

10

20

30

40

50

端子VMTに接続されている。

【0023】上述のように、APD1に流れ込む電流と同一の電流が後段側カレントミラー回路2Rに流れ込んでいる。後段側カレントミラー回路2Rにおいても一方のトランジスタ2RQ1に流れ込む電流と等しい電流が他方のトランジスタ2RQ2、すなわち、電流及び電圧モニタ端子IMT、VMTの接続されたトランジスタ2RQ2に流れ込む。したがって、APD1に流れ込む電流と同一の電流が、このモニタ端子付きのトランジスタ2RQ2に流れ込むため、それぞれの端子IMT、VMTで電流及び電圧をモニタすれば、APD1に流れる電流又はこれから換算される電圧をモニタすることができる。

【0024】一方、APD1から出力される光電流は、トランスインピーダンスアンプ3によって、これに対応

(数1)

$$I_{c1} = \beta 1 \cdot I_{b1}$$

(数2)

$$I_{c2} = \beta 2 \cdot I_{b2}$$

【0026】まず、前段側カレントミラー回路2Fに着目すると、電流 $I_{APD}$ は以下の関係を満たす。

(数3)

$$\begin{aligned} I_{APD} &= I_{c1} \text{ (トランジスタ2FQ1)} \\ &+ I_{b1} \text{ (トランジスタ2FQ1)} \\ &+ I_{b1} \text{ (トランジスタ2FQ2)} \\ &= I_{c1} + 2 \cdot I_{b1} \end{aligned} \quad \dots \text{ (式3)}$$

【0027】(式3)及び(式1)の関係から、コレク

(数4)

$$I_{c1} = I_{APD} / (1 + 2 / \beta 1) \quad \dots \text{ (式4)}$$

【0028】後段側カレントミラー回路2Rにおけるモニタ電流 $I_{VTR}$ は、前段側カレントミラー回路2Fと同

(数5)

$$I_{VTR} = I_{c1} / (1 + 2 / \beta 2) \quad \dots \text{ (式5)}$$

【0029】(式4)及び(式5)の関係から、電流I

(数6)

$$I_{VTR} = I_{APD} / (1 + 2 / \beta 1) / (1 + 2 / \beta 2) \quad \dots \text{ (式6)}$$

【0030】すなわち、モニタ電流 $I_{VTR}$ は、APD1の電流 $I_{APD}$ に比例することとなる。

【0031】なお、カレントミラー回路に含まれる抵抗の抵抗値が等しくない場合には、それぞれの抵抗2FR

(数7)

$$I_{c1} = r1 / r2 \cdot I_{APD} / (1 + (1 + r1 / r2) / \beta 1)$$

.. (式7)

(数8)

$$I_{VTR} = r3 / r4 \cdot I_{c1} / (1 + (1 + r3 / r4) / \beta 2)$$

.. (式8)

【0032】この場合においても、モニタ電流 $I_{VTR}$ は、APD1の電流 $I_{APD}$ に比例することとなる。

【0033】このような回路を用いると、通常の5V動作の光受信モジュールで用いられている光パワー（電

する電圧信号に変換される。このトランスインピーダンスアンプ3としては、GaAs製アンプ3Aとその入力と出力との間に接続された帰還抵抗素子3Rとからなる増幅回路が好適に用いられる。

【0025】ここで、APD1に流れる電流 $I_{APD}$ と、カレントミラー回路2の出力側に設けられた電流モニタ端子IMTから出力される電流 $I_{VTR}$ との関係について若干の説明をしておく。なお、前段側カレントミラー回路2Fを構成するトランジスタ（電流増幅率 $\beta 1$ ）のベース電流を $I_{b1}$ 、コレクタ電流を $I_{c1}$ 、後段側カレントミラー回路2Rを構成するトランジスタ（電流増幅率 $\beta 2$ ）のベース電流を $I_{b2}$ 、コレクタ電流を $I_{c2}$ とする。すなわち、 $I_{c1}$ 及び $I_{c2}$ は以下の関係を満たす。

... (式1)

... (式2)

電流 $I_{c1}$ は以下の関係を満たす。

様に以下の関係を満たす。

$I_{APD}$ と電流 $I_{VTR}$ とは以下の関係を満たす。

1、2FR2、2RR1、2RR2の抵抗値を、 $r1$ 、 $r2$ 、 $r3$ 、 $r4$ とすると、(式4)及び(式5)は、それぞれ以下の(式7)及び(式8)となる。

流) モニタ回路をそのまま利用できるという長所がある。すなわち、本例においては、APD1を用いた光受信器の光入力パワーをモニタする際に、他の特別な回路を用いる必要がなく、回路構成も簡単となる。

【0034】ところで、APD1の増倍率は、温度依存性とバイアス電圧依存性を有している。APD1の増倍率が温度変化に対して略一定となるためには、バイアス電圧がAPD1の増倍率の温度依存性を補償するように変化しなければならない。APD1のアノード側の電位はトランスインピーダンスアンプ3によって固定されているため、カソード側の電位、すなわち、 $V_{APB}$ を温度依存性が補償されるように調整すればよい。上記補償を行うためには、APD1のバイアス電圧は正の温度係数

(数9)

$$V_B = V_O \cdot (1 + \Delta T \cdot \gamma) \cdot 10^{1/\gamma} \cdot \log(1 - 1/M) \quad \dots (式9)$$

【0036】すなわち、増倍率Mが一定の場合、APD1のバイアス電圧 $V_B$ は温度に対して小さな正の傾きを持って変化する(0.05~0.2(V/°C))。したがって、バイアス電圧 $V_B$ の温度係数が小さな正の値であれば、増倍率Mは一定となる。バイアス電圧 $V_B$ は端子電位 $V_{APB}$ から、トランジスタ2FQ1或いはこれと抵抗2FR1による電圧降下分だけ下がった値であるため、この電圧降下の温度依存性を無視するとすると、端子電位 $V_{APB}$ が正の温度係数を有するように設定すれば、バイアス電圧 $V_B$ の温度係数を正の値に設定することができる。

【0037】端子電位 $V_{APB}$ は、増倍率制御回路40によって設定される。増倍率制御回路40は、その出力電位に対応する電位 $V_{APB}$ の温度係数をAPD1の温度係数に対して補償する温度係数補償回路(温度補償回路)40Tと、電流バイパス回路(以下、クリップ回路とする)40Cとから構成されている。

【0038】まず、温度係数補償回路40Tについて説明する。電源 $V_B$ には抵抗 $R'$ が接続されている。この抵抗 $R'$ の下流側を以下の説明における温度係数補償回路40Tの基準電位とする。

【0039】基準電位とグランドとの間には、抵抗群40TR3、40TR4、40TR5とツエナダイオード40TD1とが並列に接続されており、この並列回路の下流側には抵抗40TR6が介在している。なお、抵抗40TR4は分割式のものであって、その分割点はトランジスタ40TQ2のベースに接続されている。ツエナダイオード40TD1の電圧降下を電圧 $V_Z$ とすると、これに並列に接続された抵抗群40TR3、40TR4、40TR5の両端間電圧は $V_Z$ に一致し、抵抗の分割比を $k$ とすると、分割点の電位差 $\Delta V$ は基準電位からみて $k \times V_Z$ となる。

(数13)

$$\begin{aligned} V_E &= V_2 - V_{BE} \\ &= (I_1 \times R_2) - V_{BE} \\ &= ((\Delta V - 2V_{BE}) / R_1) \times R_2 - V_{BE} \\ &= ((kV_Z - 2V_{BE}) / R_1) \times R_2 - V_{BE} \quad \dots (式13) \end{aligned}$$

【0045】なお、温度係数補償回路40Tにおいては、高周波成分やノイズを除去できるように、適宜コン

を有する必要がある。

【0035】すなわち、APD1に正の温度係数のバイアス電圧を印加する理由は、このバイアス電圧 $V_B$ と増倍率Mとが以下の関係を満たすためである。なお、 $\Delta T$ は基準温度との温度差、 $\gamma$ はAPD増倍率の温度係数( $\approx 0.6\%/^{\circ}\text{C}$ )、 $V_O$ は基準温度の場合のブレイクダウン電圧、 $n$ はAPDの特性によって決まる値で経験的に0.106を採用する。

【0040】電源 $V_B$ とグランドとの間には、抵抗 $R'$ 、可変抵抗40TR1、ベース-コレクタ間が短絡されたpnpトランジスタ40TQ1、pnpトランジスタ40TQ2、抵抗40TR2が順次接続されている。ここで、トランジスタ40TQ2がオンすると、電源 $V_B$ からグランドに電流 $I_1$ が流れる。

【0041】バイポーラトランジスタ40TQ1、40TQ2のベース-エミッタ間電圧は、pn接合ダイオードの順方向電圧に固定されており0.6V~0.7Vである。トランジスタのベース-エミッタ間電圧を $V_{BE}$ とする。直列接続された2つのトランジスタの電圧降下は略 $V_{BE}$ の2倍である。したがって、可変抵抗40TR1両端間の電位差 $\Phi$ は、以下の式で与えられる。

(数10)

$$\Phi = \Delta V - 2V_{BE} \quad \dots (式10)$$

【0042】可変抵抗40TR1を流れる電流 $I_1$ は、抵抗40TR1の抵抗値を $R_1$ とすると、以下の式で与えられる。

(数11)

$$I_1 = (\Delta V - 2V_{BE}) / R_1 \quad \dots (式11)$$

【0043】電流値が一度決定されると、電位 $V_2$ は以下の式で与えられる。なお、抵抗40RT2の抵抗値を $R_2$ とする。

(数12)

$$V_2 = I_1 \times R_2 \quad \dots (式12)$$

【0044】なお、可変抵抗40TR1はnpnトランジスタ40TQ3のコレクタに接続されている。温度係数補償回路40Tの出力電位 $V_E$ 、すなわち、抵抗 $R''$ の上端側の電位 $V_E$ は、電位 $V_2$ よりもトランジスタ40TQ3の $V_{BE}$ 分だけ低いので、出力電位 $V_E$ は以下の式で与えられる。

デンサC'、40TC1が図示の如く介在している。

【0046】ここで、温度係数 $\delta V_E$ は、以下の式で与

えられる。なお、 $\delta X$ は $X$ の温度係数を示すこととす

(数14)

$$\begin{aligned} \delta V_E &= (k \delta V_Z - 2 \delta V_{BE}) / R_1 \cdot R_2 \\ &- (k V_Z - 2 V_{BE}) / R_1 \cdot R_2 (\delta R_1 / R_1 - \delta R_2 / R_2) \\ &- \delta V_{BE} \end{aligned} \quad \dots (式14)$$

【0047】ここで、 $\delta R_1 / R_1 - \delta R_2 / R_2$ の項は他の項に比較して小さいため、零とみなすことがで

(数15)

$$\delta V_E = (k \delta V_Z - 2 \delta V_{BE}) / R_1 \cdot R_2 - \delta V_{BE} \dots (式15)$$

【0048】例えば、 $\delta V_{BE} = -2 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ 、 $\delta V_Z = +1.2 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ 、 $k = 0.8$ 、 $R_1 = 8.7 \text{ k}\Omega$ 、 $R_2 = 200 \text{ k}\Omega$ とすると、 $\delta V_E$ は $0.116 \text{ V}/^\circ\text{C}$ という小さな正の値となる。これは温度係数( $\text{V}/^\circ\text{C}$ )が正であるツエナダイオードと負であるトランジスタとを並列接続して組み合わせたためである。これらの寄与の割合は抵抗分割比 $k$ 及び $R_1$ の値によって決定されるため、本回路においては分割比 $k$ 及び $R_1$ の値を調整することによって温度係数を自在に調整することができる。すなわち、その出力電位 $V_E$ の温度依存性は、温度係数補償回路40Tによって調整することが可能である。なお、ツエナダイオードはツエナ電圧によって、その温度係数が変化する。本例では、ツエナダイオードは約5Vで使用し、このようなダイオードは正の温度係数を有する。

【0049】APD1の増倍率 $M$ は、温度依存性とバイアス電圧依存性を有している。上述のように、温度係数補償回路40Tの出力電位 $V_E$ の温度依存性は、自在に調整することができたが、APD1のバイアス電圧 $V_B$ は、クリップ回路40C及び前段側カレントミラー回路2Fを通過することによって、出力電位 $V_E$ よりも約2V<sub>BE</sub>或いはこれと抵抗2FR<sub>1</sub>の抵抗値和だけ低下したものである。

【0050】したがって、APD1には、 $V_E$ よりも低い電位 $V_B$ が与えられる。この電位の低下時の温度特性はあまり変化しないので、APD1には正の温度係数を有する電圧が印加されることとなる。

【0051】次に、クリップ回路40Cについて若干の説明をしておく。クリップ回路40Cは、温度係数補償回路40Tと前段側カレントミラー回路2Fとの間に介在しており、直列抵抗群40CR<sub>1</sub>、40CR<sub>2</sub>と、これに並列に接続されたnpnトランジスタ40CQ1とから構成されている。直列抵抗群40CR<sub>1</sub>、40CR<sub>2</sub>に非常に微弱な電流が流れている場合には、これによる電圧降下は小さく、npnトランジスタ40CQ1のベース-エミッタ間電圧がpn接合の順方向バイアス電位(0.6~0.7V)を越えることはないため、トランジスタ40CQ1はオフ状態であり、殆どの電流は直列抵抗群40CR<sub>1</sub>、40CR<sub>2</sub>を介して前段側カレントミラー回路2Fへ流れ込む。

【0052】一方、直列抵抗群40CR<sub>1</sub>、40CR<sub>2</sub>

る。

き、温度係数 $\delta V_E$ は近似的に以下の式で与えられる。

を流れる電流量が増加すると、抵抗40CR<sub>2</sub>両端間の電圧降下は増加する。すなわち、npnトランジスタ40CQ1のベース-エミッタ間電圧が、その閾値を越えることとなり、トランジスタ40CQ1はオンして、クリップ回路40Cの入出力間に低抵抗のバイパス経路を形成する。このように、クリップ回路40Cは動作時には低抵抗であるため、APD1に大きなバイアス電圧を印加することができる。

【0053】なお、このバイパス経路を流れる電流量が更に増加すると、直列抵抗群40CR<sub>1</sub>、40CR<sub>2</sub>を流れる電流量は相対的に減少する。

【0054】上記光モジュールを試作し、その特性を評価した。上記npnトランジスタ及びnpnトランジスタには、 $V_{CE}$ (コレクター-エミッタ間電圧)の耐圧150ボルト、 $\beta$ が80程度の素子を用い、抵抗 $r_1$ 及び抵抗 $r_2$ には10k $\Omega$ 、抵抗 $r_3$ 及び $r_4$ には2.4k $\Omega$ を用い、APD電流モニタ用端子IMTには+5Vを印加した。APD電流 $I_{APD}$ が10~1000 $\mu\text{A}$ の範囲では、図3のグラフに示すような比例関係が得られた。

【0055】なお、図3はAPD1を流れる電流 $I_{APD}$ とモニタ電流 $I_{VTR}$ との関係を示すグラフである。このグラフから求められるモニタ電流 $I_{VTR}$ とAPD1の電流 $I_{APD}$ の関係は以下の通りである。

(数16)

$$I_{VTR} = 0.948 \times I_{APD} \dots (式16)$$

【0056】なお、トランジスタ2RQ2のエミッタから、光電流に比例した電圧出力を取り出すことも可能である。

【0057】なお、上述した回路は、光モジュールに内に実装したが、一部の回路はこれの外に配置してもよい。また、上記回路は同一半導体チップ或いは同一配線基板上に集積化してもよい。また、回路条件を調整すれば、APD1の代わりにPINフォトダイオードなどを用いることもできる。例えば半導体受光素子として、径50 $\mu\text{m}$ のInGaAsからなるPINフォトダイオードが好適に用いられる。また、パッケージとしては、樹脂モールドタイプのものに限らず、メタルパッケージ、プラスチックパッケージ等、種々のものを利用することが可能であることは言うまでもない。

【0058】さらに、上記バイアス回路は、APD1のカソード側に接続したが、これは簡単な設計変更によっ

てアノード側にも接続可能であることは言うまでもない。

【0059】また、カレントミラー回路には多くの形態があり、上記と同様の作用を有する他の回路構成を採用することも可能である。例えば、バイポーラトランジスタに代えて電界効果トランジスタ（FET）を用い得ることもできる。

【0060】以上、説明したように、上記光電流モニタ回路は、光信号を受光するフォトダイオード1と、双方を流れる電流が比例関係にある2つの並列ラインを有し、一方のこのラインにフォトダイオード1の一端が接続された第1カレントミラー回路2Fと、第1カレントミラー回路2Fの他方のラインに、その並列ラインの一方が接続された第2カレントミラー回路2Rと、第2カレントミラー回路2Rの並列ラインの他方に接続された光電流モニタ用端子IMTとを備える。

【0061】この光電流モニタ回路によれば、第1及び第2カレントミラー回路2F、2Rを介して、フォトダイオード1に流れる光電流に比例した電流を光電流モニタ用端子IMTから検出することができるため、検出用の回路がフォトダイオードの光電流自体に影響を与えることなく、正確な光電流をモニタすることができる。

【0062】第1及び第2カレントミラー回路2F、2Rは、互いに極性が反対のバイポーラトランジスタから構成されており、これらは直列に接続されているため、電流の流れる方向を一致させることができ、回路構成が簡単となる。

【0063】また、フォトダイオード1はアバランシェフォトダイオードであり、第1カレントミラー回路2Fを構成する一方のバイポーラトランジスタ2FQ1のコレクタはフォトダイオード1に、エミッタは正の温度係数（V/℃）の電位を該エミッタに与える増倍率制御回路40に接続されている。

【0064】アバランシェフォトダイオード1の増倍率は、温度依存性及びバイアス電圧依存性を有する。ここで、アバランシェフォトダイオード1においては、バイアス電圧に正の温度係数の電位を与えると、その増倍率の温度依存性を補償することができる。アバランシェフォトダイオード1のバイアス電圧を与える第1カレントミラー回路2Fのトランジスタ2FQ1のコレクタ電位

は、エミッタ電位から一意的に決定される。したがって、このエミッタに増倍率制御回路40を接続し、これに正の温度係数の電位を与えると、その増倍率の温度依存性を補償することができる。

【0065】増倍率制御回路40は、正の温度係数（V/℃）を有するツエナダイオード40TD1と、ベース-エミッタ間電圧が負の温度係数（V/℃）を有するトランジスタ40TQ1（40TQ2）とを、出力側の温度係数（V/℃）が正となるように並列接続した温度補償回路40Tを備え、この温度補償回路40Tの出力は前記エミッタに接続されている。

【0066】すなわち、温度係数が互いに逆極性のツエナダイオード40TD1とトランジスタ40TQ1（40TQ2）とを並列に接続すると、その出力電位 $V_e$ の温度係数は各素子の寄与率に応じて調整することができ、アバランシェフォトダイオード1の好適な増倍率設定を行うことができる。

【0067】また、上記光受信器は、フォトダイオード1の他端に接続されたトランスインピーダンスアンプ3を更に備え、トランスインピーダンスアンプ3から光信号の情報が出力される。フォトダイオード1からの光電流は、一方では上記の如く間接的にモニタされるが、直接の光電流はトランスインピーダンスアンプ3を介して電圧変換されることにより、光信号の情報として出力することができる。

【0068】

【発明の効果】本発明によれば、検出用の回路がフォトダイオードの光電流自体に影響を与えることなく、正確な光電流をモニタすることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】実施の形態に係る光モジュール10の縦断面図。

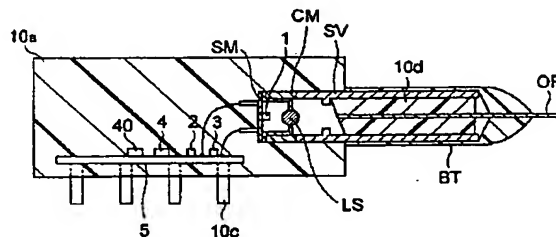
【図2】光モジュールの回路図。

【図3】APD1を流れる電流 $I_{APD}$ とモニタ電流 $I_{MT}$ との関係を示すグラフ。

【符号の説明】

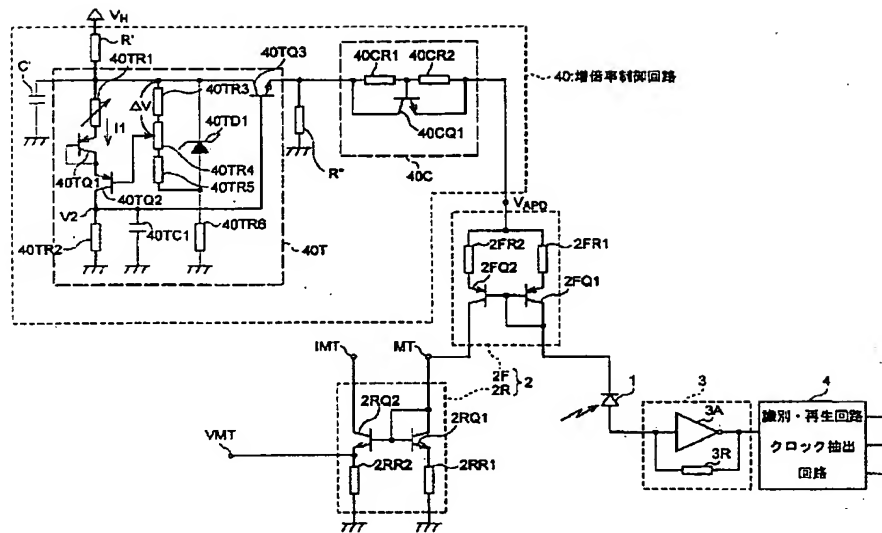
1…フォトダイオード、2F…第1カレントミラー回路、2R…第2カレントミラー回路、IMT…光電流モニタ用端子。

【図1】

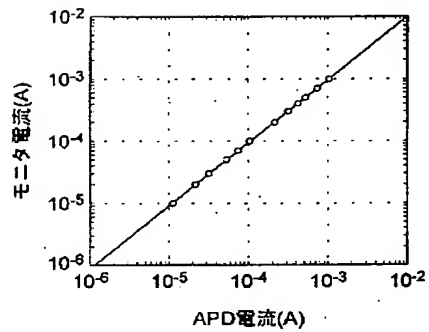




【図 2】



【図 3】



フロントページの続き

(51) Int. Cl.

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

10/04

10/06